UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

IAN MAURO CONCHA CHIA

SEGURANÇA EM UMA CÉLULA ROBOTIZADA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2014

IAN MAURO CONCHA CHIA

SEGURANÇA EM UMA CÉLULA ROBOTIZADA

Monografia de conclusão do Curso de Especialização em Automação Industrial do Departamento Acadêmico de Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Automação Industrial.

Prof. Orientador M. Sc. Silvio Cezar Bortolini

CURITIBA
2014

RESUMO

CHIA, Ian M Concha. **Segurança em uma Célula Robotizada**. 2013. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Automação Industrial) – Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

Este trabalho apresenta um estudo a respeito dos requisitos de segurança em uma célula robótica com aplicação na operação de montagem em uma linha de produção, apresentando uma configuração de robô, principais tipos de dispositivos de segurança aplicáveis, dispositivos de monitoramento e conceitos de redes industriais de segurança. É proposta a classificação de risco e implementação de dispositivos de segurança que atendam à NR12, utilizando CLPs de segurança como dispositivo de monitoramento de sensores e equipamentos de segurança.

Palavras-chave: Célula robótica. NR12. CLP de segurança.

ABSTRACT

CHIA, Ian M Concha. **Safety in a Robotic Workcell**. 2013. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Automação Industrial) – Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

This work presents a study regarding safety requirements in a robotic work cell applied in an assembling operation in an assembly line, introducing robot setup, main applicable safety devices, monitoring devices and concepts of safety industrial networks. It is proposed a safety category level and safety devices in order to comply with NR12, using Safety PLCs as safety monitoring device of safety sensors and equipments.

Key-words: Robotic work cell. NR12. Safety PLCs.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CIP	Protocolo Industrial Comum *(Common Industrial Protocol)*
CLP	Contolador Lógico Programável
CLT	Consolidação das Leis do Trabalho
ISO	Organização Internacional para Padronização (*International Organization for Standardization*)
IFR	Federação Internacional de Robótica *(International Federations of Robotics)*
NBR	Normas Brasileiras
NR	Normas Regulamentadoras

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentados tema, delimitação do tema, problemas e premissas, objetivos, justificativa e procedimento metodológico.

1.1 TEMA

A utilização de robôs é crescente nas indústrias de manufatura, em especial verifica-se a presença predominante destes na indústria automobilística. Em 1998, segundo dados da SOBRACON, existiam no Brasil 1800 robôs, sendo que 65% destes estavam instalados na indústria automobilística (SOCIEDADE..., 1998). Nos demais segmentos das indústrias de manufatura do Brasil, verifica-se que grande parte das tarefas, são realizadas manualmente por operadores. Segundo dados de 2010 da Federação Internacional de Robótica (International Federation of Robotics – IFR), em países como Coréia do Sul e Alemanha, a densidade de robôs (número de robôs para cada 10.000 trabalhadores) era superior a 250 (INTERNATIONAL..., 2010 p. 69). Em contraste, países como o Brasil, apresentam densidades inferiores a 20. Com base nos dados da IFR, considera-se que o potencial de instalação de robôs, ainda é imenso (INTERNATIONAL..., 2011). Devido à contínua busca pela redução de custos, aumento na produtividade e preocupação com ergonomia, a robotização de alguns processos se mostra como uma alternativa para atingir estes objetivos (ABREU, 2002).

No entanto, a medida que cresce o número de tarefas automatizadas através de máquinas, aumenta também a necessidade de investimentos na segurança e proteção dos trabalhadores nestes ambientes de trabalho com a presença de máquinas. A instalação de um robô implica em uma série de alterações em uma linha de produção, tais como nos equipamentos para programação e sincronização das operações, na comunicação entre equipamentos, e principalmente na instalação de sensores, controladores e outros dispositivos de segurança na célula robótica.

A automação oferece vantagens do ponto de vista técnico: qualidade uniforme permanente, velocidade de trabalho alta e constante; econômico: alta produtividade, substituição do dispendioso trabalho feito pelo homem por máquinas; e social: livrar a humanidade da responsabilidade de atividades sujas, monótonas, difíceis ou perigosas (FESTO, 1993).

A quantificação dos riscos à segurança é usualmente difícil, porém a adoção de medidas preventivas de segurança e o cumprimento das exigências normativas, minimiza consideravelmente os riscos envolvidos. A legislação, especificamente a NR12, prevê uma série de requisitos de modo a garantir a a saúde e integridade física dos trabalhadores em ambientes onde há a utilização de máquinas. Neste contexto de crescente expansão das tarefas automatizadas, é desejável a utilização de sistemas de segurança que sejam flexíveis e facilmente expansíveis de acordo com esta tendência de crescimento.

1.1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

No presente trabalho será apresentada uma proposta de topologia de segurança de uma célula robótica de acordo com a NR12, de modo a reduzir as condições inseguras em ambientes de trabalho na presença de robôs industriais, utilizando CLPs de segurança e outros dispositivos de segurança aplicáveis à células robóticas de acordo com as exigências normativas vigentes. A aplicação utilizada como exemplo, trata da automação de uma operação de montagem de portas em uma linha de produção de refrigeradores, abordando aspectos de funcionamento da linha, comunicação e sincronização dos equipamentos, além de aspectos relacionados à utilização de protocolos de rede de segurança, CLPs de segurança e suas vantagens em um ambiente industrial.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Apesar da tendência de redução do custo de produção de componentes, seja devido à utilização de novos materiais, à simplificação dos produtos, ou à utilização de novos processos tecnológicos, o contrário tem vindo a ocorrer em relação à montagem desses componentes para formarem os produtos finais. É normalmente na montagem que está envolvida maior incorporação de trabalho manual. Neste contexto, a automação de operações de montagem tem tido um crescimento significativo, cabendo aos robôs um papel importante (ABREU, 2002).

Na linha de montagem estudada, as etapas de montagem de portas que compõem os refrigeradores, são executadas por operadores, manualmente ou com o auxílio de ferramentas de manipulação. No entanto, havendo variação nas

dimensões dos produtos, a operação de montagem pode tornar-se ergonomicamente inviável, além de ser uma tarefa repetitiva.

Visando solucionar os problemas descritos, percebeu-se que uma alternativa possível é a automação destas operações de montagem com a utilização de robôs. Neste contexto, um problema identificado, decorrente da automação de operações utilizando máquinas, refere-se à necessidade de estabelecer procedimentos adequados para garantir a segurança e integridade dos operadores, de acordo com as exigências normativas. Dentre as normas aplicáveis, a NR12, é disponibilizada pelo Ministério do Trabalho, porém outras normas, como as normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), são pagas e devem ser adquiridas para que se tenha conhecimento integral do seu conteúdo. Além disso, várias destas normas referenciam outras normas, aumentando o número de informações e dificultando a compreensão dos critérios adequados para atender às exigências normativas.

1.3 OBJETIVOS

Nesta seção serão apresentados o objetivo geral e objetivos específicos.

1.3.1 Objetivo Geral

Apresentar uma topologia de segurança aplicáveis à uma célula robótica de uma indústria de manufatura de acordo com a NR12.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar os tipos de robôs e manipuladores adequados à operações de montagem;
- Identificar o nível de segurança requerido pela NR12;
- Apresentar os tipos de dispositivos do sistema de segurança aplicáveis à uma célula robótica de acordo com a NR12;
- Propor uma estrutura de segurança de modo a garantir a segurança dos operadores próximos à célula de trabalho robótica: grades, sensores, atuadores, CLPs e CLPs de segurança.

1.4 JUSTIFICATIVA

O primeiro robô industrial surgiu em 1961, desenvolvido por Joseph Engelberger, e seu princípio de funcionamento era hidráulico. Em 1974, a companhia sueca ASEA desenvolveu o primeiro robô industrial totalmente elétrico (ABB GROUP, 2005). Sua característica antropomórfica e o sistema de controle microprocessado, estabeleceram novos padrões de dimensões compactas, velocidades de movimento e precisão de posicionamento que possibilitaram novas aplicações que antes não eram possíveis com as máquinas hidráulicas (ABB GROUP, 2005 p. 69).

Atualmente existe um imenso potencial de crescimento na utilização de robôs em processos industriais. A inserção de robôs traz benefícios, tais como aumento de produtividade e redução de custos de mão de obra, porém ambientes robotizados devem ser entendidos como partes de um sistema mais abrangente e sempre que houver o compartilhamento de um ambiente de trabalho entre robôs e pessoas, não há dúvidas de que a segurança é a maior prioridade.

A motivação deste trabalho deve-se à necessidade de adequação das áreas em ambientes com a presença de robôs, de modo a garantir a proteção e segurança dos trabalhadores, utilizando equipamentos devidamente certificados de acordo com a categoria de segurança requerida. Além disso, a possibilidade de expansão e automatização de outras tarefas torna desejável que os equipamentos de segurança utilizados em um ambiente possam ser expandidos e aproveitados de modo a atender os requisitos de segurança em futuras instalações de robôs e/ou máquinas.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho apresenta uma pesquisa de natureza aplicada, por ter objetivo de solucionar um problema específico, atender às exigências normativas de segurança humana em uma célula robótica utilizada na automação de uma operação de montagem em uma linha de produção (GIL, 1994).

De acordo com Gil (1994), este trabalho tem sua pesquisa classificada como descritiva e explicativa, por procurar estabelecer relações entre as variáveis e utilizar técnicas de coleta de dados, e explicativa por procurar identificar os fatores que determinam a ocorrência dos fenômenos.

Para atingir o objetivo do trabalho serão ainda necessárias pesquisas em livros, artigos, manuais e catálogos a respeito de robôs, CLPs e demais equipamentos periféricos presentes em células de manufatura. A partir destas pesquisas será possível definir como estes equipamentos serão interconectados e como será o princípio de funcionamento dos equipamentos de segurança.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho será composto de cinco capítulos. No capítulo 1, introdutório deste trabalho, é estabelecido o tema principal, definido o problema e premissas, bem como os objetivos do estudo, justificativa e cronograma de execução do projeto.

O capítulo 2 apresenta os fundamentos teóricos com os conceitos gerais de robôs, requisitos de segurança NR12.

O capítulo 3 apresenta fundamentos acerca de redes industriais, principais protocolos utilizados além de apresentar também conceitos de sistemas de manufatura.

No capítulo 4, será proposta uma aplicação dos robôs na operação de montagem apresentada no capítulo 3, conexão deste utilizando redes industriais e equipamentos para operação segura da célula robótica.

As conclusões do trabalho são apresentadas no capítulo 5 e no capítulo 6 são relacionadas a s referências utilizadas neste trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INDÚSTRIA DE MANUFATURA, ROBÔS E MANIPULADORES

Células flexíveis de manufatura permitem a fabricação de diferentes modelos de produtos com características semelhantes em uma mesma linha de montagem, de modo que a produção possa ser flexibilizada, por exemplo, ajustando a produção de acordo com a demanda. No entanto, devido à complexidade envolvida em identificar um grande número de partes diferentes, cada uma correspondente a um modelo de produto, implica que geralmente as indústrias atribuem estas tarefas a operadores, uma vez que, a realização destas tarefas por robôs, a princípio, implicaria em uma operação mais demorada e envolveria custos maiores, devido aos dispositivos necessários para reconhecimento e seleção de cada peça.

No exemplo deste trabalho, uma indústria de eletrodomésticos é capaz de produzir diversos modelos de refrigeradores domésticos, simultaneamente, em uma mesma linha de montagem. Cada um destes eletrodomésticos possui características semelhantes, gabinetes internos plásticos, gabinetes externos metálicos, mesmo número de portas, entre outras, mas cada modelo apresenta suas particularidades, como volumes e dimensões diferentes. A operação de montagem descrita neste trabalho, deve ser entendida como a junção de duas ou mais peças, tal que seja formado um novo subproduto.

2.1.1 Robôs e Manipuladores

Robôs, de acordo com a Associação de Indústrias de Robôs dos Estados Unidos (Robot Industries Association - RIA), são "manipuladores reprogramáveis e multifuncionais, projetados para manipular materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especializados, através de movimentos variáveis programados para a realização de tarefas diversas" (SPONG, 1989, p. 2).

Os robôs são classificados basicamente de acordo com a precisão, velocidade e modo como se movimentam. A determinação do tipo de robô a ser utilizado depende da finalidade do processo a ser automatizado.

Para operações de montagem, é necessário manipular, transportar, orientar e posicionar os componentes, logo as principais características necessárias de um robô são:

- alto grau de acuidade e repetibilidade no posicionamento do órgão terminal ou garra;

- garras ou manipuladores que manipulação da peça sem danificar esta;

- movimento rápido do braço do robô.

Os principais elementos de um robô são o braço, punho, atuador/garra (*end-effector*), controlador, e sensores. O braço está associado ao posicionamento (x, y,z) do robô, o punho, associado à orientação (θ, Φ, Ψ) da garra . Estes dois componentes são formados por partes rígidas, os elos, conectados através das juntas, que por sua vez, podem ser prismáticas, caso o movimento entre os elos seja linear; rotacionais, caso o movimento entre os elos seja rotacional; ou ainda esféricas, caso o movimento seja uma combinação de três juntas rotacionais em um mesmo ponto de rotação. O controlador é responsável por gerar as informações de ativação de um ou mais atuadores e pode ser conectado com outros dispositivos de controle externos, como CLPs. Os atuadores são dispositivos de conversão de energia (motores, cilindros pneumáticos, etc), que impõem movimentos às partes mecânicas. Os sensores são os elementos destinados à detecção do estado do robô e do ambiente. Entre os tipos de sensores amplamente utilizados em robôs, podem ser citados codificadores, fins-de-curso, sensores de força, sensores de proximidade capacitivos e indutivos. (SANTOS, 2003)

Um parâmetro importante na definição de um robô, são os graus de liberdade. Estes se referem ao número total de movimentos independentes que o dispositivo pode realizar. Um objeto pode ser deslocado ao longo dos 3 eixos e também pode ser rotacionado em torno de cada um deles, totalizando assim, 6 graus de liberdade.

Com base nos tipos de juntas e número de graus de liberdade, os robôs podem são classificados entre cartesianos, cilíndricos, esféricos, articulador horizontal (SCARA) e articulador vertical.

A garra (*end-effector*) é o componente conectado ao último elo do robô, que tem como principal função, agarrar a peça a ser montada. Existem vários tipos de garras, por exemplo, pinças, mãos antropomórficas ou ainda com funcionamento magnético, ou a vácuo. Na operação de montagem deste caso, a superfície das peças a serem transportadas e montadas é conformada em uma chapa de aço, portanto garras de vácuo (*vacuum grippers*) ou eletromagnéticas são as mais apropriadas para a aplicação.

As garras à vácuo são projetadas para prender a peça através da aplicação de vácuo em ventosas de sucção, por meio da aplicação de ar comprimido. De modo a reduzir os riscos devido à perda de vácuo em alguma garra, é recomendado a utilização de duas ou mais ventosas associadas. As figuras 1 e 2 ilustram uma garra à vácuo do tipo venturi.

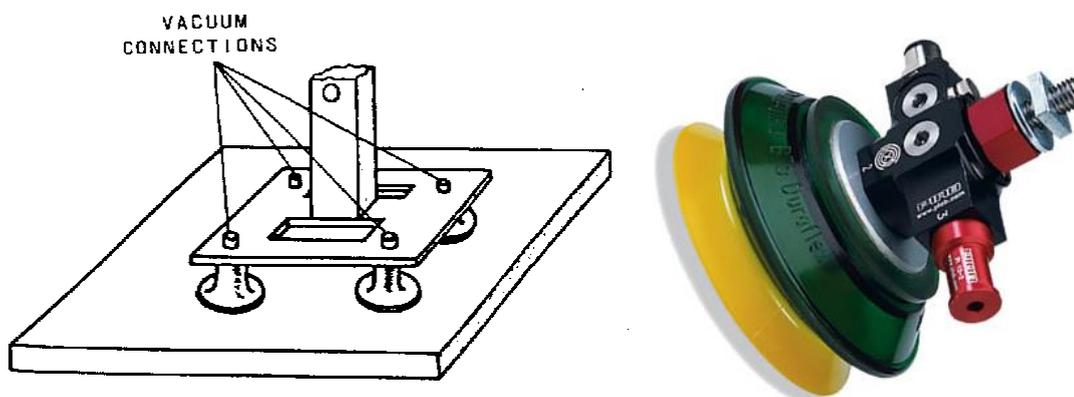



Figura 1 – Garras de vácuo
Fonte: Argos Automação - piab

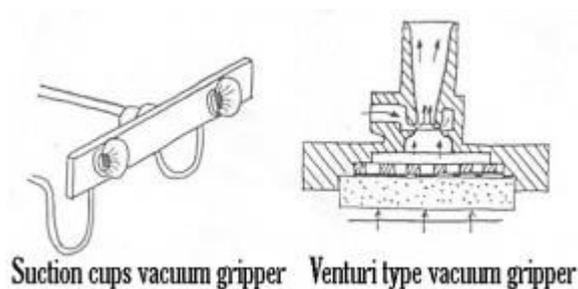



Figura 2 – Garras de vácuo Venturi
Fonte: http://www.roboticsbible.com/vacuum-grippers.html

As garras eletromagnéticas são utilizadas em objetos que podem ser magnetizados (por exemplo, aço e níquel) através da aplicação de um campo magnético. A figura 3 apresenta um tipo de garra magnética.

Figura 3 – Garras Magnéticas
Fonte: Robotics Bible, 2013

2.2 SEGURANÇA EM AMBIENTES DE TRABALHO COM MÁQUINAS

De modo a garantir a segurança em um sistema que envolva máquinas, ou neste caso específico, robôs, o sistema deve contemplar, entre outros, dispositivos de proteção, sistemas de parada segura e restrições operacionais em caso da presença de pessoas nas áreas das máquinas. Segundo a norma regulamentadora NR12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos, consideram-se dispositivos de segurança “os componentes que, por si só ou interligados ou associados a proteções, reduzam os riscos de acidentes e de outros agravos à saúde”.

A IEC 61508 é um padrão globalmente aceito e utilizado na implementação de sistemas de segurança. Comumente fabricantes utilizam este documento como base para o desenvolvimento dos seus sistemas relacionados com segurança.

2.2.1 NR12

A NR 12 é uma norma regulamentadora editada pelo Ministério do Trabalho e Emprego, que fornece orientações sobre procedimentos obrigatórios relacionados à segurança do trabalho quando na instalação, operação e manutenção de máquinas e equipamentos. Sua existência legal é assegurada pelos artigos 184 a 186 da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) e pela portaria nº 3214, de 08 de Junho de 1978, que aprova as NRs.

O conceito fundamental da NR12 é de que o homem, sem dispositivos de segurança, não é apto a se proteger em seu meio de trabalho, portanto as máquinas e equipamentos devem possuir estes dispositivos.

A partir da revisão de 2010 da NR12, trabalha-se com o conceito de falha segura, ou seja, em caso de uma falha no sistema, este deve ir para uma situação que não coloque em risco os usuários. Segundo a NR12, o princípio de falha segura requer que um sistema entre em estado seguro, quando ocorrer falha de um componente relevante à segurança. A principal pré-condição para a aplicação desse princípio é a existência de um estado seguro em que o sistema pode ser projetado para entrar nesse estado quando ocorrerem falhas.

A NR12 está estruturada em um corpo com 19 títulos, onde estão contidos os princípios gerais de segurança para uso em todas as máquinas, e 65 páginas com anexos apresentando princípios, definições e excepcionalidades especificas.

> *12.1. Esta Norma Regulamentadora e seus anexos definem referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores e estabelece requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos de todos os tipos, e ainda à sua fabricação, importação, comercialização, exposição e cessão a qualquer título, em todas as atividades econômicas, sem prejuízo da observância do disposto nas demais Normas Regulamentadoras – NR aprovadas pela Portaria nº 3.214, de 8 de junho de 1978, nas normas técnicas oficiais e, na ausência ou omissão destas, nas normas internacionais aplicáveis.*

Os anexos da NR12 estão divididos nos seguintes capítulos :

I – Distâncias de segurança e requisitos para o uso de detectores de presença optoeletrônicos.

II – Conteúdo programático da capacitação.

III – Meios de acesso permanentes.

IV – Glossário.

V – Moto serras.

VI – Máquinas para panificação e confeitaria.

VII – Máquinas para açougue e mercearia.

VIII – Prensas e similares.

IX – Injetoras de materiais plásticos.

X – Máquinas para fabricação de calçados e afins.

XI – Máquinas e implementos para uso agrícola e florestal.

XII – Equipamentos de guindar para elevação de pessoas e realização de trabalho em altura.

A figura 4 e a tabela 1, do anexo I da NR12, apresenta as distâncias de segurança para impedir o acesso a zonas de perigo pelos membros superiores.

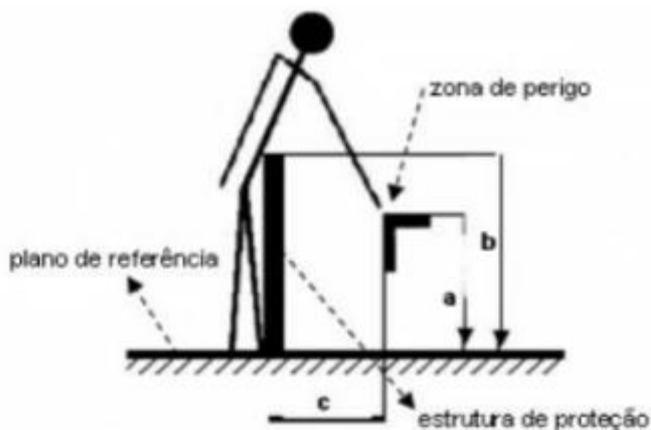



Figura 4 – Anexo I - Alcance sobre estruturas de proteção
Fonte: NBR 14153 (ASSOCIAÇÃO ..., 2013)

Altura da estrutura de proteção b1)										
	1000	1200	1400 2)	1600	1800	2000	2200	2400	2500	2700
Altura da zona de perigo a	Distância horizontal à zona de perigo "c" 27003									
27003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2600	900	800	700	600	600	500	400	300	100	-
2400	1100	1100	900	800	700	600	400	300	100	-
2200	1300	1200	1000	900	800	600	400	300	-	-
2000	1400	1300	1100	900	800	600	400	-	-	-
1800	1500	1400	1100	900	800	600	-	-	-	-
1600	1500	1400	1100	900	800	500	-	-	-	-
1400	1500	1400	1100	900	800	-	-	-	-	-
1200	1500	1400	1100	900	700	-	-	-	-	-
1000	1500	1400	1100	800	-	-	-	-	-	-
800	1500	1300	900	600	-	-	-	-	-	-
600	1400	1300	800	-	-	-	-	-	-	-
400	1400	1200	400	-	-	-	-	-	-	-
200	1200	900	-	-	-	-	-	-	-	-
0	1100	500	-	-	-	-	-	-	-	-

1) Estruturas de proteção com altura inferior que 1000 mm (mil milímetros) não estão incluídas por não restringirem suficientemente o acesso do corpo.
2) Estruturas de proteção com altura menor que 1400 mm (mil e quatrocentos milímetros), não devem ser usadas sem medidas adicionais de segurança.
3) Para zonas de perigo com altura superior a 2700 mm (dois mil e setecentos milímetros) ver figura 2.
Não devem ser feitas interpolações dos valores desse quadro; consequentemente quando os valores conhecidos de “a”, “b” ou “c” estiverem entre dois valores do quadro, os valores a serem utilizados serão os que propiciarem maior segurança

Tabela 1 – Alcance sobre estruturas de proteção (dimensões em mm)
Fonte: NBR 13852 (ASSOCIAÇÃO ..., 2003)

Na figura 5, é possível visualizar a análise de risco para classificação da categoria de segurança requerida, levando em consideração a severidade do ferimento, frequência de exposição ao risco e possibilidade de evitar o perigo.

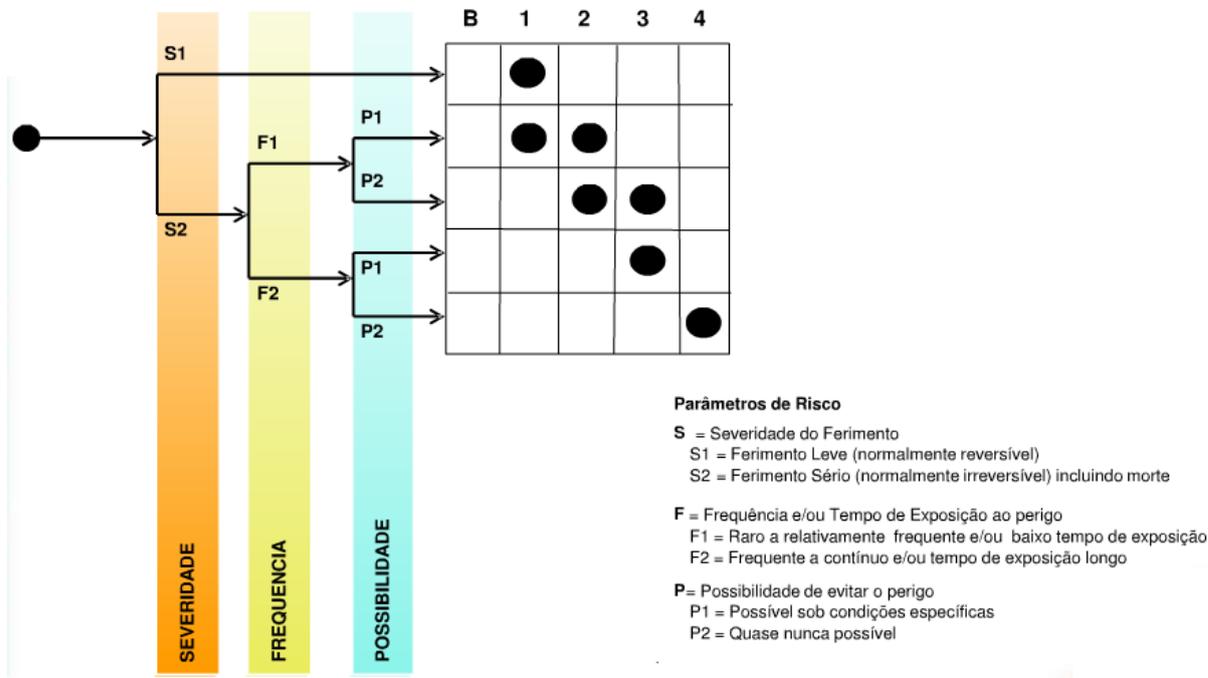



Figura 5 – Análise de Risco,
Fonte: NBR 14153 – Anexo B

2.2.2 Dispositivos de Proteção e Segurança

Dispositivos de proteção são necessários em ambientes onde a operação de máquinas representa riscos à segurança das pessoas que trabalham neste ambiente. Para fins de aplicação da NR12, “consideram-se dispositivos de segurança os componentes que, por si só ou interligados ou associados a proteções, reduzam os riscos de acidentes e de outros agravos à saúde”. Um dispositivo com finalidade de proteção e segurança atender aos requisitos previstos na NR12:

> 12.38. As zonas de perigo das máquinas e equipamentos devem possuir sistemas de segurança, caracterizados por proteções fixas, proteções móveis e dispositivos de segurança interligados, que garantam proteção à saúde e à integridade física dos trabalhadores.
>
> 12.39. Os sistemas de segurança devem ser selecionados e instalados de modo a atender aos seguintes requisitos:
>
> a) ter categoria de segurança conforme prévia análise de riscos prevista nas normas técnicas oficiais vigentes;

> b) estar sob a responsabilidade técnica de profissional legalmente habilitado;
> c) possuir conformidade técnica com o sistema de comando a que são integrados;
> d) instalação de modo que não possam ser neutralizados ou burlados;
> e) manterem-se sob vigilância automática, ou seja, monitoramento, de acordo com a categoria de segurança requerida, exceto para dispositivos de segurança exclusivamente mecânicos; e
> f) paralisação dos movimentos perigosos e demais riscos quando ocorrerem falhas ou situações anormais de trabalho.

Os principais dispositivos utilizados são listados a seguir.

2.2.3 Barreiras Físicas

As barreiras visam estabelecer um obstáculo físico entre o operador do robô e a área de risco. Dependendo da posição e da finalidade esta barreira pode ser fixa, por exemplo, utilizando grades, ou móvel, tal como uma porta. As barreiras fixas são apropriadas quando não há pouca ou nenhuma necessidade de acesso àquela area quando a máquina está em operação normal. A frequência da necessidade de acesso a uma determinada área de operação robô é que determina se a barreira deve ser fixa ou móvel.

Caso seja necessário acesso à área de trabalho da máquina e a presença humana nesta área represente risco à segurança, é preciso utilizar barreira de proteção móvel, que pode ser aberta permitindo o acesso em uma condição segura. Segundo a NR12, a proteção deverá ser móvel se houver a necessidade de acesso à área de risco uma ou mais vezes por turno de trabalho (NR12). As proteções móveis devem ser conectadas à dispositivos de intertravamento, portanto quando abertas, implicam que a máquina deverá ter seu funcionamento limitado ou interrompido quando em operação. É necessário garantir também que o fechamento das proteções por si só não permita iniciar a operação até que haja condição segura. (PILZ, 2012)

2.2.4 Cortinas de Luz

São equipamentos optoeletrônicos com unidades transmissoras e receptoras, formando uma cortina de luz infravermelha, capazes de supervisionar a área

compreendida pela distância entre essas unidades. Se a área entre as unidades for invadida, as saídas de sinal comutarão informando ao controlador a presença de uma pessoa ou objeto. (WEG, 2013). Cortinas são ideais para aplicações nas quais é necessário acesso fácil e frequente a um ponto de perigo de operação. (ROCKWELL, 2013)

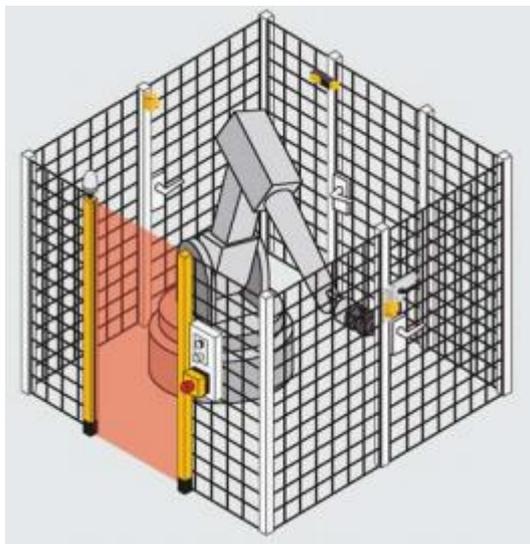



Figura 6 – Barreiras físicas e Cortina de Luz
Fonte: PILZ, 2012

2.2.5 Tapetes de Segurança

Tapetes de segurança são dispositivos utilizados para proteção humana em áreas onde a operação de uma máquina possa oferecer riscos à segurança. Consistem de duas placas de aço de correntes distintas, separadas por tiras isolantes e atuadas por pressão. Quando o tapete é pisado, uma pressão é exercida sobre a superfície do tapete, reduzindo à zero a resistência entre as placas de aço, produzindo assim um sinal que será enviado ao controlador. (SCHEMERSAL, 2013).

Tapetes de segurança combinados com um controlador aumentam a produtividade por proporcionar um acesso seguro, com menor tempo de parada por não ser necessário configurar ou remover barreiras mecânicas durante operação ou manutenção (RIA, 2013).

Na figura 7 são ilustrados tapetes de segurança ao redor de um robô.

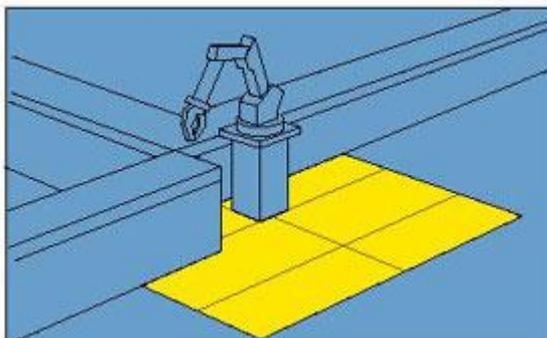



Figura 7 – Tapetes de Segurança
Fonte:

2.2.6 Scanner de Área (Laser Scanner)

São dispositivos optoeletrônicos para proteção de pessoas ou equipamentos, detectando objetos dentro do seu campo de detecção. A operação é baseada no principio de reflexão de luz, emitindo pulsos de laser infravermelho em uma área de até 190 graus, recebendo a luz refletida pelos objetos presentes dentro do campo detector e processando o sinal da luz refletida para determinar posição e distância do objeto. Quando um objeto é detectado, os scanners enviam um sinal de parada para a máquina protegida.

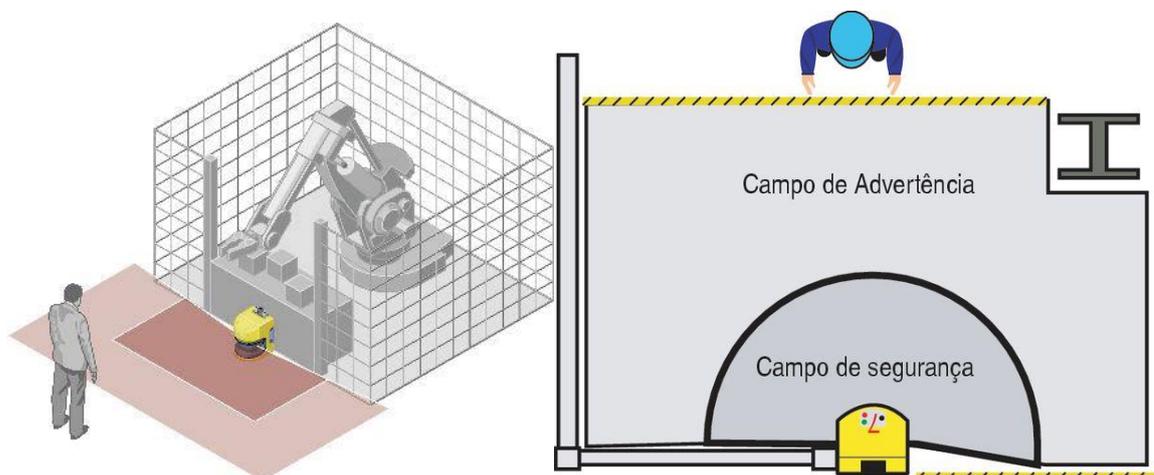



Figura 8 – Scanner de Área e Detecção por Zonas
Fonte: PILZ, 2012

2.2.7 Chaves de parada de emergência

De acordo com a NR12 (12.56 a 12.63.1), as máquinas devem ser equipadas com um ou mais dispositivos de parada de emergência, por meio dos quais possam ser evitadas situações de perigo latentes e existentes. Estes devem estar localizados

em locais de fácil acesso e visualização e mantidos permanentemente desobstruídos. Ainda, estes dispositivos devem prevalecer sobre todos os outros comandos, ser mantidos sob monitoramento por meio de sistemas de segurança e ser utilizados como medida auxiliar, não podendo ser alternativa às demais medidas de proteção.

Uma chave de parada de emergência, quando acionada, deve também resultar na retenção do acionador, de forma que o desacionamento seja possível somente como resultado de uma ação manual intencionada (exemplo, girar para liberar).

Figura 9 – Chaves de Parada de Emergência
Fonte: PILZ, 2012

2.2.8 Chaves de intertravamento

Existem basicamente dois tipos de chaves, mecânicas e magnéticas. O primeiro tipo é baseado no contato de um atuador mecânico, normalmente uma lingueta mecânica, fixada na barreira móvel, com o dispositivo, fixado na barreira fixa. É de custo inferior ao segundo tipo, mas possui as desvantagens de exigir o correto alinhamento entre as duas partes e é passível de desgaste. O segundo tipo, é baseado em um ímã fixado na proteção móvel e o dispositivo na barreira fixa. Não apresentam desgaste mecânico e apresentam uma exigência menor quanto ao alinhamento. As chaves de intertravamento de segurança devem possuir contatos de abertura-positiva, que são acionados quando uma barreira móvel é aberta. Com o sistema de abertura positiva, mesmo que ocorra uma falha interna da chave, por exemplo colagem de contato, a abertura do contato NF e o desligamento do circuito conectado à chave será garantido. Desejavelmente também as chaves devem ser dotadas de acionadores codificados para evitar que o sistema seja burlado.

2.2.9 CLP de Segurança

A NR12 prevê que os sistemas de segurança devem ser mantidos sob vigilância automática de acordo com a categoria de segurança requerida. As interfaces de segurança ou comandos elétricos classificados na NR12, são dispositivos responsáveis por realizar o monitoramento, que verificam a interligação, posição e funcionamento de outros dispositivos do sistema e impedem a ocorrência de falha que provoque a perda da função de segurança. Tradicionalmente a utilização de CLPs convencionais em sistemas de segurança, envolve redundâncias, por exemplo, utilizando dois CLPs conectados à entradas e saídas também redundantes, garantindo a execução de rotinas relacionadas à segurança, mesmo em caso de falha de um dos CLPs, sensores ou atuadores. Evidentemente, a utilização de equipamentos tradicionais redundantes requer softwares customizados, exige maior tempo para desenvolvimento das soluções e ainda, exige espaço físico adicional para equipamentos e fiações.

Há diferenças fundamentais entre CLPs de segurança e CLPs convencionais, basicamente em termos de redundância interna, auto monitoramento e certificação. Em teoria, um CLP convencional com relés externos poderia ser usado para executar funções de segurança, porém estes circuitos de monitoramento não poderiam ser certificados de acordo com uma categoria de segurança, logo não seria reconhecido por uma organização certificadora quanto aos requisitos de segurança.

A partir dos anos 90, os fabricantes passaram a desenvolver sistemas de CLPs de modo a atender aos requisitos de segurança funcional baseados na IEC 61508. Enquanto a arquitetura de CLPs convencionais prevê um microprocessador, unidade Flash, unidade RAM, entradas e saídas, os CLPs de segurança proporcionam elevado grau de confiabilidade e segurança por meio de redundâncias internas, com mais de um microprocessador, flash e RAM, que são continuamente monitorados por um circuito *watchdog.*

Dependendo da aplicação necessária, podem ser encontrados no mercado CLPs de segurança com redundância dupla, tripla ou até mesmo quádrupla. Em relação à entradas e a saídas, CLPs convencionais não possuem meios de testá-las, diferentemente dos CLPs de segurança, onde estes circuitos de entrada e saída estão associados, permitindo detectar falhas durante o funcionamento do

equipamento, ou em etapas de verificação e detecção de problemas. As saídas emitem pulsos com duração extremamente curta, que por sua vez são detectados nas entradas como pulsos de testes, assim permitindo executar continuamente rotinas de diagnósticos, diferenciando os pulsos de uma condição de falha, sem provocar uma parada no sistema.

Nas figuras 10, 11 e 12, são apresentados digramas ilustrando a arquitetura de CLPs de segurança, onde podem ser visualizadas a redundância de hardware, auto teste das entradas e saídas e a redundância de processamento.

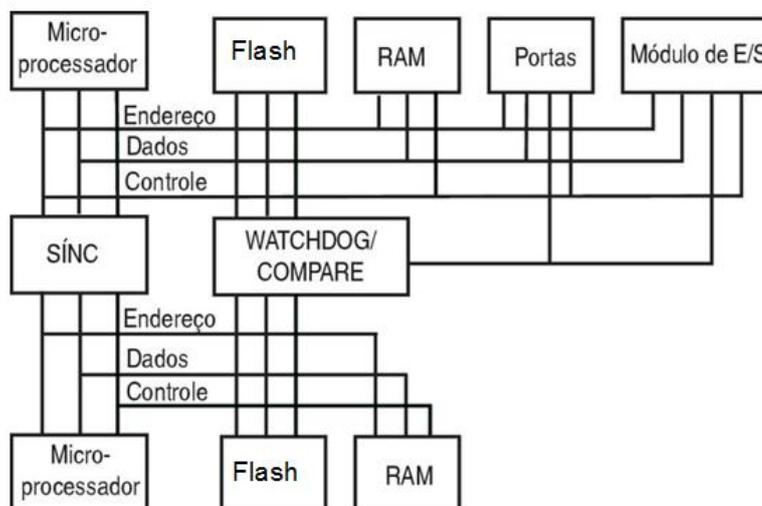



Figura 10 – Arquitetura de CLPs de Segurança - Redundância de Hardware
Fonte: Rockwell, 2013

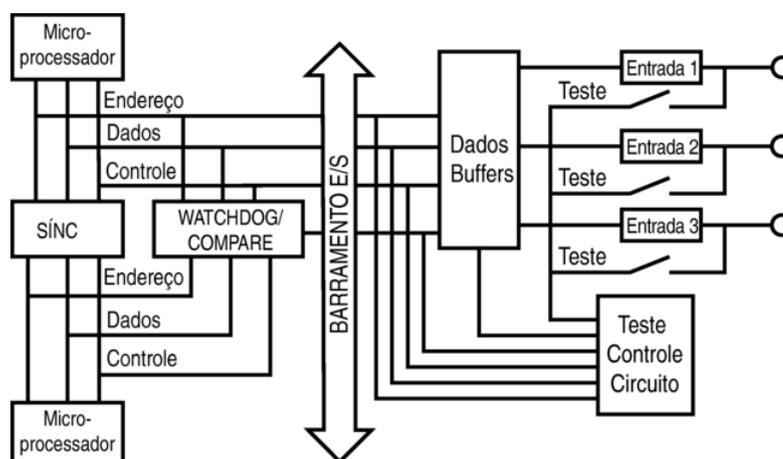



Figura 11 – Arquitetura de CLPs de Segurança – Auto teste de entradas
Fonte: Rockwell, 2013

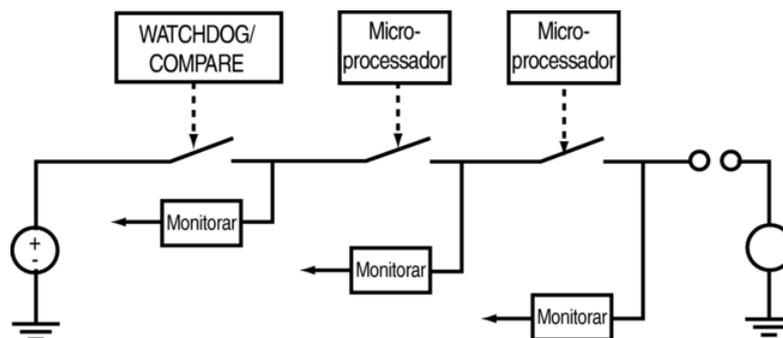



Figura 12 – Arquitetura de CLPs de Segurança – Redundância de Processamento
Fonte: Rockwell, 2013

Simplificadamente, as diferenças entre CLPs convencionais e de segurança encontra-se na detecção de erros. Em relação às entradas e saídas, normalmente não existem meios para detectar erros nas ligações, como conexões equivocadas, curtos circuitos ou fios rompidos. Os CLPs de segurança são projetados para evitar que falhas não sejam percebidas. Com diagnósticos por meio de *hardware* e *software*, o equipamento possui mais de um processador executando o controle de segurança. O sistema operacional e a aplicação de segurança são executados e compiladas separadamente, de maneira que os resultados devem ser os mesmos. Assim, na ocorrência de uma falha, esta será necessariamente detectada, direcionando de maneira previsível o sistema para uma condição segura.

Quando há a necessidade de várias funções de segurança, ou com considerável grau de complexidade, utilizando um alto número de dispositivos de entradas e saídas, CLPs de segurança podem ser utilizados. Por possuírem meios de comunicação através de redes de segurança, podem ser facilmente conectados módulos de I/Os com classificação de segurança, permitindo arquiteturas distribuídas e com número de fiações reduzido (em comparação aos sistemas convencionais utilizando diversos relés de segurança). Além disso, se sinais analógicos forem utilizados no sistema de segurança, CLPs de segurança são a única opção.

Os CLPs de segurança de fabricantes como Rockwell, Siemens, Schneider, são testados e certificados por organismos de certificação reconhecidos internacionalmente, como a TÜV Group. Nos laboratórios destes organismos os equipamentos são testados de modo a garantir que atendam aos requisitos regionais e internacionais de acordo com a a IEC 61508 e respectivas atribuições de

nível de integridade de segurança (SIL – *Safety Integrity Level*), sendo SIL 3 o nível mais alto para aplicações em máquinas (COLLINS, 2009).

O custo de um CLP de segurança é em torno de 25% a 30% maior se comparado a um CLP convencional, no entanto permite uma economia considerável quando comparado à utilização de CLPs convencionais em redundância. Analogamente, se comparado à sistemas baseados em relés de segurança, um CLP de segurança também implica em custos com cabos reduzido, além da proporcionar maior flexibilidade (ROCKWELL, 2002).

A programação do CLP de segurança, é realizada de maneira muito similar à programação de CLPs convencionais, podendo ser utilizadas qualquer uma das linguagens padrão certificadas pela IEC 61131-1 (Programmable controllers - Part 3: Programming languages). Todos os diagnósticos e verificações de erro são feitos pelo sistema operacional, sendo portanto invisíveis para o programador. A maioria dos CLPs de segurança possuem instruções especiais usadas para escrever o programa para o sistema de segurança, por exemplo blocos de instruções equivalentes à relés de segurança. Embora a lógica por trás das instruções seja complexa, os programas de segurança podem ser desenvolvidos de maneira relativamente simples. Um exemplo é a ferramenta de programação RSLogix Guard, baseada em elementos gráficos, dispensando linguagens de programação mais complexas, assim o programador pode projetar a lógica utilizando elementos pré-definidos, tais como operadores AND, OR, funções numéricas, contadores e timers, conectando entradas e saídas em uma interface “arrastar e soltar” utilizando o mouse. (ROCKWELL, 2001)

Na maioria das indústrias, o controle padrão de equipamentos, normalmente tem sido mantido de maneira isolada e independente dos controles de segurança, utilizando CLPs convencionais para o controle do processo e CLP de segurança para os controles críticos e segurança. Estes dois equipamentos podem interagir entre si por meio de redes de segurança, reduzindo possíveis ambiguidades no controle. Atualmente, é possível encontrar CLPs de segurança que possibilitam implementar aplicações de controle e segurança de maneira integrada, combinando controle padrão e o controle de segurança, otimizando a utilização de componentes e ferramentas.

2.3 REDES DE SEGURANÇA

À medida que os requisitos de redes se estendiam aos componentes de segurança, com as mesmas motivações que levaram as redes de comunicação para os meios industriais (aumentar distâncias entre dispositivos, aumentar a flexibilidade e reduzir custos) , foi impulsionado o desenvolvimento de redes industriais de segurança, de modo que pudessem ser reduzidas as limitações dos sistemas de segurança convencionais, os quais normalmente requeriam grande quantidade de fios para cumprir funções de segurança, eram de difícil manutenção e difícil expansão.

O conceito principal das redes de segurança, não foi o desenvolvimento de redes que não falhassem, mas sim, a criação de um sistema onde as falhas na rede pudessem ser detectadas e levassem os dispositivos de segurança a um estado seguro, devendo portanto apresentar comportamento obrigatoriamente determinístico, garantindo integridade na transmissão de dados. respeitando as exigências normativas. o protocolo DeviceNet Safety, está em conformidade com a IEC 61508 SIL3 para segurança funcional, e EN 954-1 Categoria 4 para segurança de máquinas.

2.3.1 Protocolo CIP e CIP Safety

A tecnologia CIP (*Common Industrial Protocol*) tem como objetivo prover uma camada de aplicação, de acordo com o modelo OSI, comum para diferentes redes, como DeviceNet, ControlNet e Ethernet/IP, integrando o controle de entradas e saídas, configuração de dispositivos e coleta de dados. A tecnologia CIP tem o suporte da ODVA (*Open DeviceNet Vendors Association*) e ControlNet International, associações compostas pelas principais empresas mundias de automação. O protocolo CIP foi projetado para ser expansível, permitindo que novos serviços, como por exemplo CIP Safety, sejam adicionados, sem necessidade de reprojetar a rede básica. (PELLIZER, 2007).

A visão de segurança costumava ser relacionada com redução de produção e custos elevados devido à necessidade de redes distintas e independentes, porém através de protocolos de rede, tal como DeviceNet Safety , é possível a coexistência

de sistemas de controle padrão e de segurança em um mesmo fio sem sacrificar a produção e reduzindo custos e simplificando projetos. (ROCKWELL, 2006).

O protocolo CIP Safety, certificado para utilização em aplicações de segurança, proporciona comunicação à prova de falhas entre nós, como E/S, dispositivos de intertravamento, cortinas de luz e CLPs de segurança. Além de proporcionar interoperabilidade entre diferentes fabricantes de dispositivos de segurança através de redes que adotam o protocolo CIP, o maior benefício do CIP Safety é a retro-compatibilidade, permitindo a integração de dispositivos de segurança com dispositivos de controle padrão operando em uma mesma rede pré-existente, dispensando investimentos em fiações adicionais ou equipamentos específicos.

Devido às camadas de aplicação de segurança não dependerem da integridade das camadas inferiores CIP padrão e das camadas de enlace de dados, um único canal físico (não redundante) pode ser usado para a interface de comunicação de enlace de dados. Esta divisão de funcionalidade permite que roteadores padrão sejam usados para o roteamento dos dados de segurança. O roteamento de mensagens de segurança é possível, porque o dispositivo final é responsável por assegurar a integridade dos dados. Se ocorrer um erro na transmissão de dados ou em um roteador intermediário, o dispositivo final detecta a falha e toma a ação apropriada.

A primeira implementação do CIP Safety foi para redes DeviceNet, lançado sob o nome de CIP Safety on DeviceNet, em 2005, oferecendo comunicação padrão e de segurança em um mesmo cabo de rede DeviceNet.

Dispositivos de segurança utilizam CIP Safety, enquanto dispositivos de controle padrão não, permitindo que tanto os dispositivos de controle e de segurança coexistam no mesmo cabo de comunicação da rede.

Embora o CIP Safety on DeviceNet permita combinar protocolos de controle padrão e de segurança em uma mesma arquitetura, há também a opção de implementar um projeto com arquitetura separada, na qual as comunicações de segurança e de controle padrão são isoladas fisicamente.

As figuras 13 e 14 apresentam as camadas do protocolo CIP e o roteamento de dados entre redes baseadas no protocolo CIP. É possível perceber que as camadas de segurança se baseiam nas camadas superiores, portanto a utilização de um único canal físico, permitindo a integração de dispositivos de controle padrão e dispositivos de segurança.

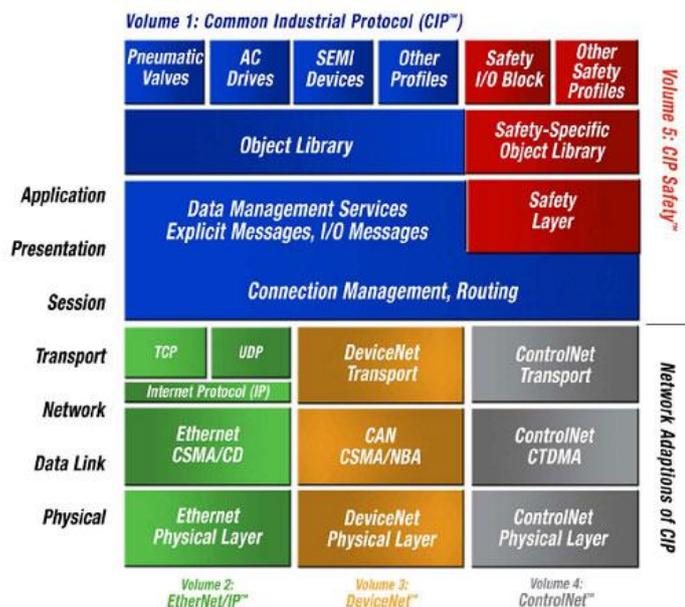



Figura 13 – Camadas CIP – Safety Layers
Fonte: ODVA, 2003

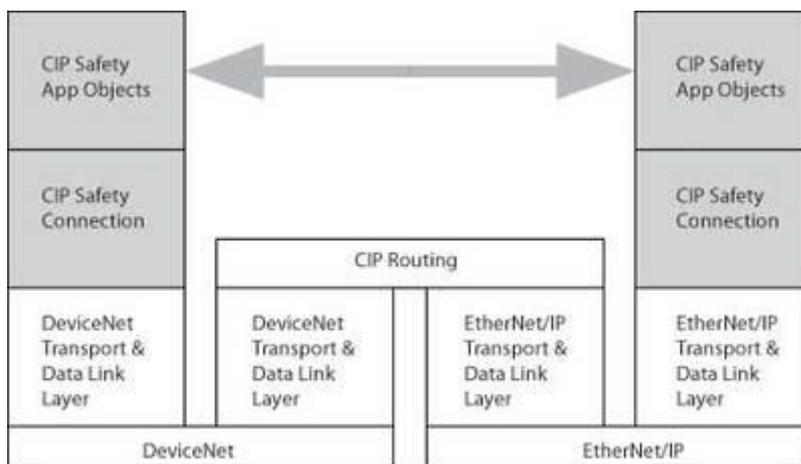



Figura 14 – Roteamento de Dados de Segurança
Fonte: ODVA, 2003

3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

3.1 Robô para Montagem de Peças

Um trecho da linha de montagem deste caso, é ilustrado na figura 15, onde é realizada a operação de montagem das portas de refrigeradores que possuem duas portas, uma superior e outra inferior. Na esteira 1 são dispostos os gabinetes (10) na posição horizontal, sem portas. Na posição 10a do gabinete, há uma dobradiça, comum às duas portas. No final da esteira 1, os gabinetes são transferidos à esteira 2, e na posição dos operadores A e B, é feita a montagem, respectivamente, da porta superior e da porta inferior. A porta inferior, montada primeiro, possui um orifício (4) que recebe o pino (5a) da dobradiça (5) na posição 10a, portanto, o operador deve dispor a porta logo acima do gabinete, encaixar o orifício no pino da dobradiça e em seguida posicionar a porta, encaixando-a de maneira que as laterais da porta fiquem alinhadas com as laterais do gabinete.

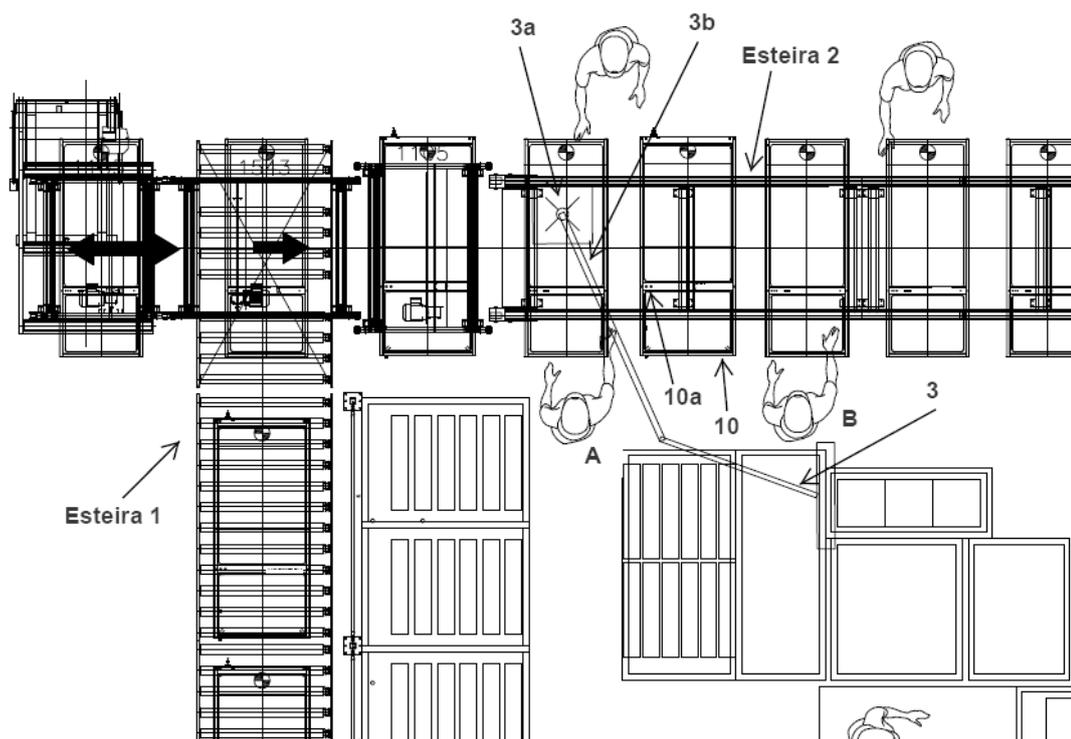



Figura 15 – Exemplo do layout de uma linha com montagem manual de portas

É possível perceber na figura 15, que há uma ferramenta auxiliar (3) para o operador manipular as portas. A ferramenta é composta de um braço (3b) articulado, sendo que na extremidade (3a) do braço, há um conjunto de garras de vácuo

(ventosas), acionadas pelo operador através de botões. Para utilizar a ferramenta, o operador deve posicionar as garras de vácuo (desativadas) sobre a superfície externa das portas, pressionar um botão para que as garras prendam-se à porta, levantar a ferramenta a qual o braço está preso, e direcionar a porta na direção do gabinete do refrigerador. No entanto, muitos dos operadores, não consideram esta ferramenta prática, preferindo realizar a montagem de forma totalmente manual, o que não é uma prática desejada do ponto de vista de ergonomia.

A figura 16 mostra em detalhe uma porta inferior e uma dobradiça com um pino, a qual a porta será fixada.

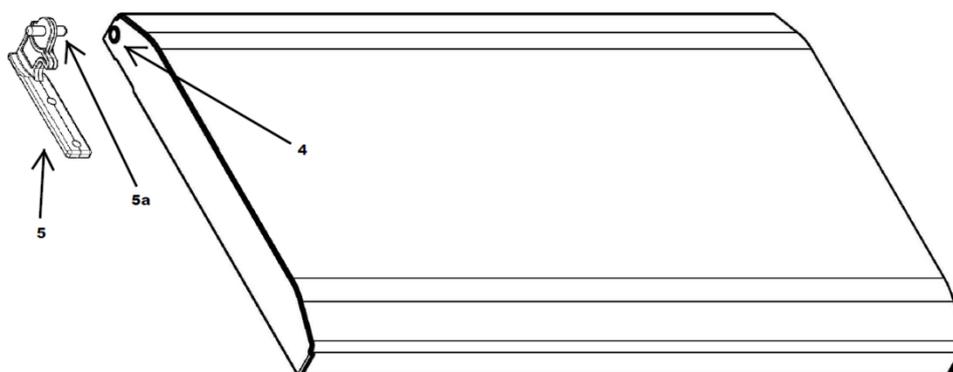



Figura 16 – Porta Inferior de um produto a ser montado

Normalmente, em uma linha de montagem, são montados diferentes modelos de produtos, portanto cada gabinete possui um par de portas correspondentes específico. Além disso, na figura 15, todos os produtos apresentam a porta de menor dimensão no lado do operador que realiza a montagem, logo a montagem de ambas as portas está ao fácil alcance do operador, visto que a dobradiça fica a uma distância aceitável do posto onde o operador se encontra. Caso a configuração de algum produto apresente a porta inferior menor que a porta superior, a dobradiça estará localizada a uma maior distância do operador A. Logo, mesmo com a utilização da ferramenta, a montagem da porta será dificultada e sem auxílio da ferramenta, será ergonomicamente impossível de ser realizada.

Nesta situação, a utilização de um robô poderia proporcionar uma série de vantagens, entre elas:

- rapidez no processo de montagem;
- unificação dos 2 postos de montagem de portas;
- eliminação de 1 posto de trabalho com tarefas repetitivas;
- eliminação de um posto de trabalho sujeito à dificuldades ergonômicas;

No sistema proposto, o posto de montagem de portas é uma célula robótica, composta por um robô de 6 graus de liberdade, com 3 armários (*racks*) dispostos em um posições fixas determinadas, dentro da área de alcance do robô.

Baseado nas dimensões dos produtos, peso das peças e alcance do braço robótico necessário para esta aplicação, a célula robótica será composta de um robô da ABB, modelo IRB4400/L10, com capacidade para até 10kg, mostrado na figura 18. Na figura 18, também são ilustradas as trajetória e capacidade de alcance na faixa de trabalho deste robô.

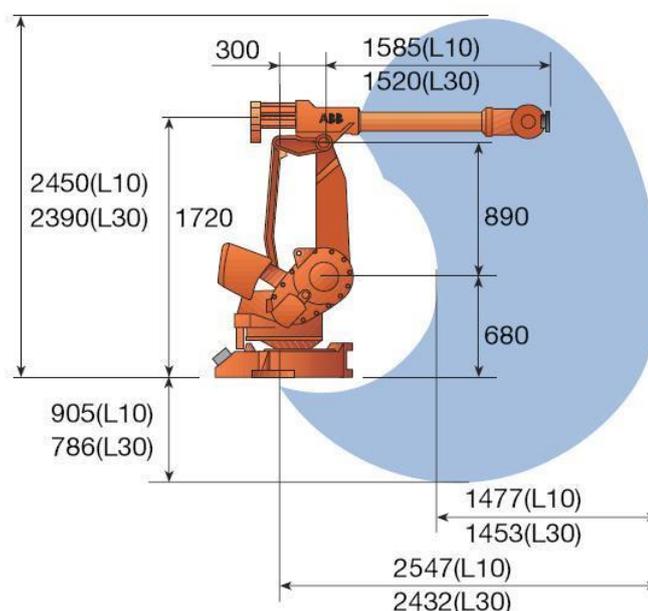



Figura 17 – Robô de 6 graus de liberade IRB 4400
Fonte: ABB - http://www.abb.com/productdetails/ABBQ3HAC1629-3

Cada um dos 3 armários (*racks*), visualizados na figura 21, possui dois andares e são responsáveis por armazenar portas de até 3 diferentes modelos de produtos, sendo que cada andar é destinado à uma das duas portas (inferior e superior) utilizadas por cada modelo de produto. e disponibilizá-las sempre na mesma orientação e posição. A tarefa de seleção e alimentação dos *racks* é realizada por um operador, que deve inserir as portas em um *slot* disponível do *rack* correspondente.

Uma das laterais dos armários, ilustrada na figura 19, deve estar disponível para o operador, para que seja possível a colocação das portas nestes.

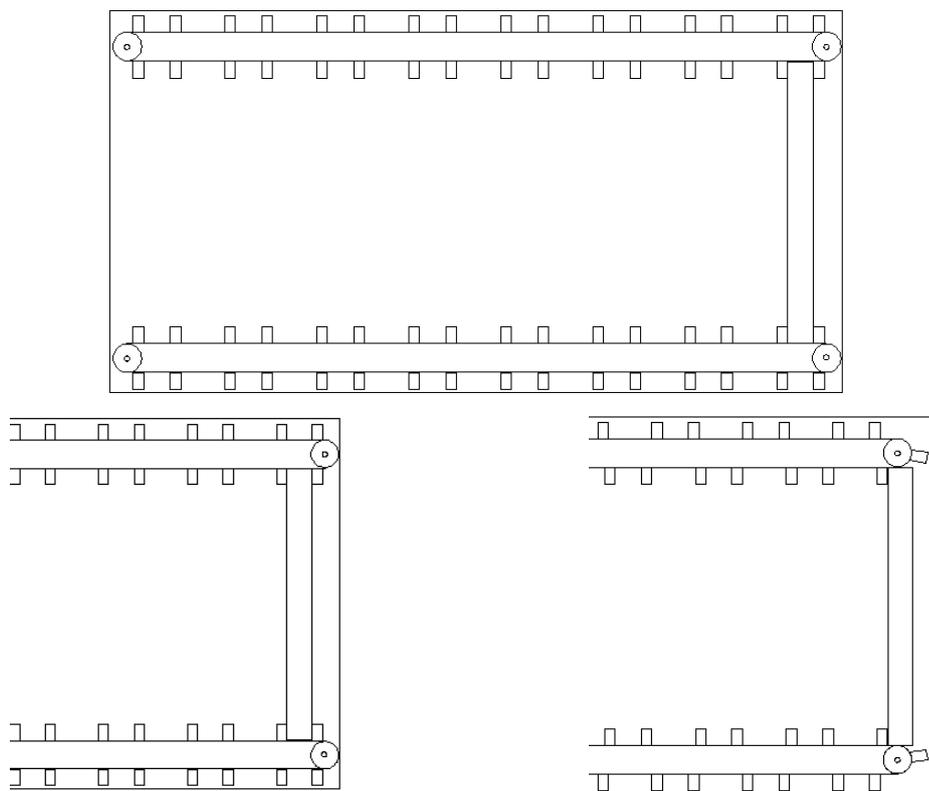



Figura 18 – Vista esquemática em corte longitudinal de um andar de um rack com slots para inserção das portas

Na extremidada do *rack*, as portas são disponibilizadas para a garra do robô. A medida que uma porta é retirada pelo robô, um sistema deslizante posiciona novamente na extremidade do rack o próximo slot contendo uma porta.

Para permitir a identificação do modelo de cada produto, os gabinetes possuem um código de barras, e através de um leitor de código de barras (figura 20) localizado na esteira principal, é possível determinar qual modelo está na esteira e quais os modelos de portas que devem ser montados.

As portas, superiores e inferiores, respectivas à cada modelo de produto, deverão ser organizadas em racks específicos, de acordo com a disposição a ser definida durante a programação do robô, sendo portanto classificadas e devidamente inseridas no rack correspondente por um operador.

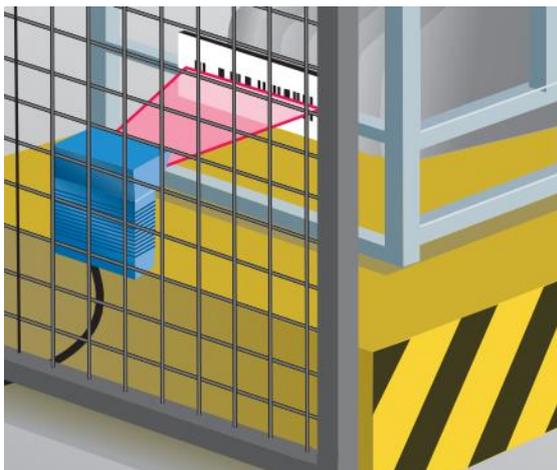



Figura 19 - Leitor de codigo de barras
Fonte: SICK, 2013

3.2 Segurança em uma Célula Robótica para Montagem de Peças

Inicialmente, foram determinadas os tipos de barreiras físicas necessárias e as dimensões adequadas, com base no anexo I da NR 12 (figura 4 e tabela 1). Na área da célula robótica, ao redor do robô, é necessário a presença de proteções fixas e móveis. As distâncias para instalação destas proteções e devem ser calculadas de acordo com o anexo I da NR12.

Considerando a utilização de um robô ABB 4400 L10 (figura 18) sendo instalado com um efetuador (garras de vácuo) de 300mm, obtem-se o valor da altura máxima de 2750mm. Com base no anexo I da NR12, alcance sobre estruturas de proteção (figura 4 e tabela 1), dentro da área de trabalho do robô a situação mais crítica é considerando a altura da zona de perigo de 1400mm com uma distância horizontal de 800mm. Portanto a altura da estrutura de proteção “B1” (fig. 21), devem ser de no mínimo 1800mm. As barreiras físicas deverão ser instaladas de modo a permanecerem devidamente fixadas com estabilidade e serem construídas a partir de materiais adequados, com resistência mecânica de modo a conter a eventual projeção de peças lançadas a partir da célula robótica.

Segundo a NR12, a proteção deverá ser móvel se houver a necessidade de acesso à área de risco uma ou mais vezes por turno de trabalho, portanto será utilizada uma barreira física móvel (porta) para acesso à área de trabalho da célula robótica. Conforme itens 12.41 e 12.45 da NR12, deve-se associar à barreiras móveis um dispositivo de intertravamento sendo que o robô deve operar somente quando as proteções estiverem fechadas, paralisando suas funções perigosas

quando as proteções forem abertas durante a operação e garantindo que o fechamento das proteções por si só não possa dar inicio às funções perigosas.

Para a barreira móvel, deverá ser prevista uma chave de segurança, que atenda à categoria de segurança nível 4, isto é, deve apresentar redundância. Nesta célula, optou-se por utilizar chaves magnéticas do fabricante Rockwell, modelo MC1, conectadas à um CLP de segurança.

Na figura 21, é ilustrado uma proposta de layout para uma célula robótica, onde podem ser visualizados alguns dos dispositivos de segurança para esta aplicação. São consideradas duas barreiras físicas, uma (B1) atrás da esteira e outra, no lado oposto, iniciando próxima aos racks em direção ao painel.

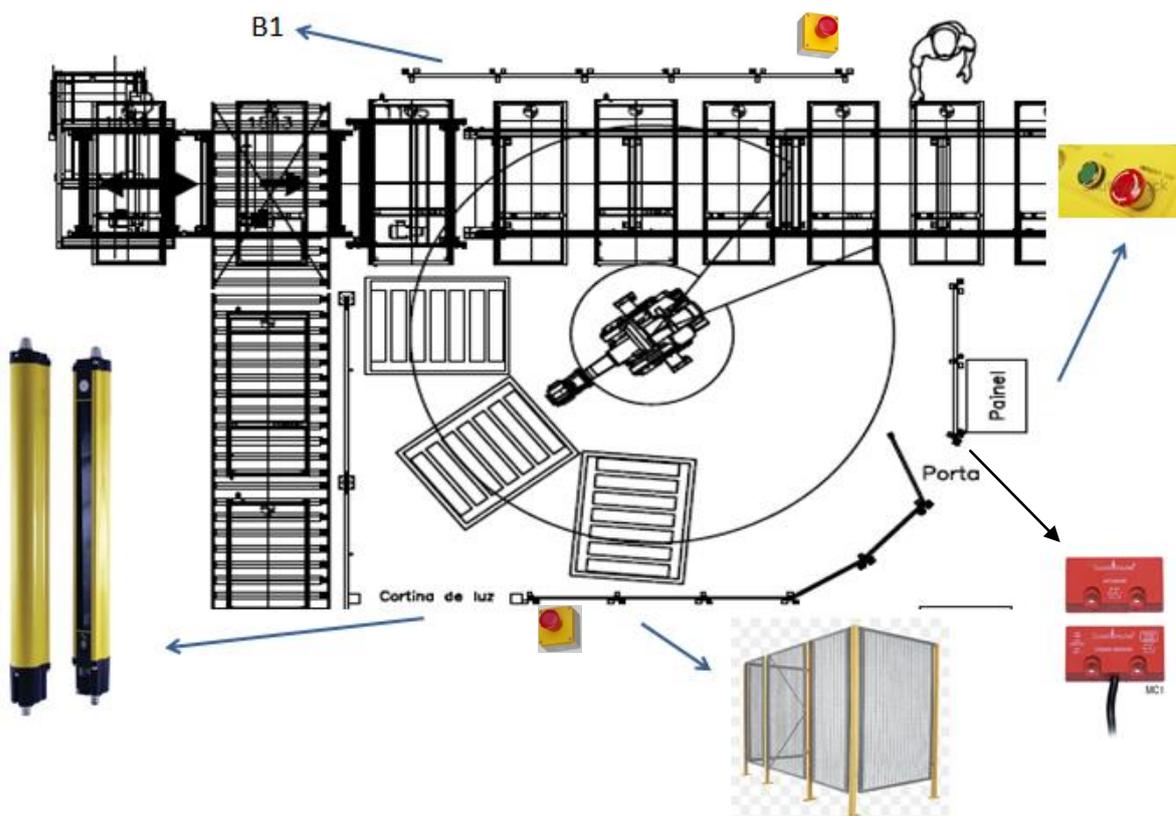



Figura 20 – Célula robótica com dispositivos de segurança

Uma porta é prevista e é dotada de uma chave magnética de intertravamento, ilustrada na figura 22.

Figura 21 - Chave sem contato MC1 com intertravamento de canal duplo Rockwell
Fonte: Rockwell, 2013

Seguindo a determinação da categoria de segurança, de acordo com a figura 23, estabelecida na NBR 14153, deve ser avaliado o risco quanto à gravidade da lesão, frequência e tempo de exposição ao perigo e à possibilidade de evitar o perigo. O primeiro critério a ser avaliado é a gravidade da lesão, portanto considerando o robô ABB 4400 L10, uma colisão com um trabalhador pode ser provocada pelos rápidos movimentos do braço do robô, podendo resultar em lesões graves.

Em relação à frequência de exposição, as pessoas que circulam na área do robô e são responsáveis por operá-lo, estão em constante exposição aos riscos decorrentes da movimentação dos braços robóticos e peças.

Como a operação do robô depende da operação de outros pontos da linha de montagem, não é possível precisar o exato momento do início do movimento. Além do robô operar em uma área grande, ele é dotado de muita energia e velocidade em seus movimentos, portanto considera-se que a possibilidade de evitar o perigo é baixa.

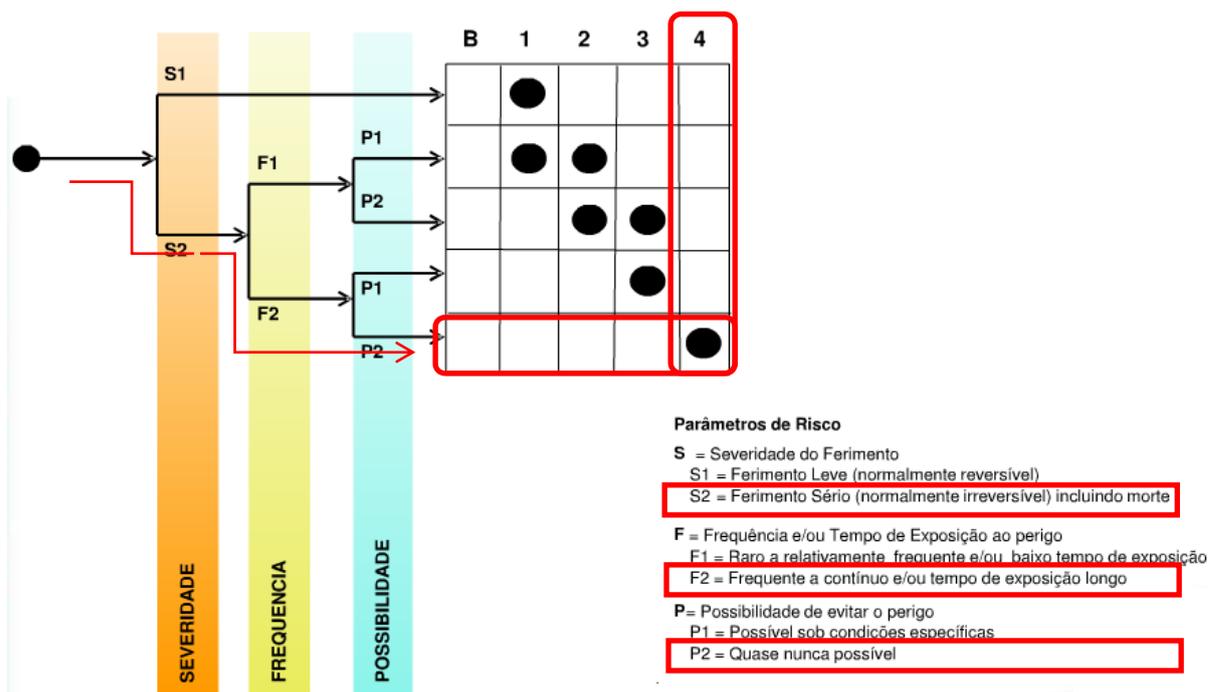



Figura 22 – Determinação da Categoria de Segurança
Fonte: Adaptado da NBR 14153

Para o projeto de acordo com a categoria requerida de segurança, neste caso, categoria 4, todos os componentes do sistema de segurança, desde os sensores até os atuadores devem atender à categoria 4. Conforme a NBR 14513, a categoria 4 determina que uma falha isolada ou um acúmulo de falhas não irá levar à perda da função de segurança e portanto a função principal de segurança deve ser dotada de redundância e auto teste.

O painel de controle do operador deve estar localizados fora da célula robótica e possuir quatro botões: um de parada, um de início, um de parada de emergência e um botão de reset. De acordo com o item 12.40 da NR12, para iniciar a operação do robô, ou reiniciar após uma parada de emergência, é obrigatório o acionamento de um botão de RESET.

> 12.40. Os sistemas de segurança, de acordo com a categoria de segurança requerida, devem exigir rearme, ou reset manual, após a correção da falha ou situação anormal de trabalho que provocou a paralisação da máquina.

Para a utilização de detectores de presença optoeletrônicos a NR12 deve ser seguido o anexo I item B, cálculo das distâncias mínimas de segurança para instalação de detectores de presença optoeletrônicos.

A distância mínima na qual os equipamentos de proteção individual eletrosensiveis (ESPS) usando cortina de luz devem ser posicionados em relação à

zona de perigo, deverá observar o calculo mostrado na figura 24 e apresentado no item B do anexo I da NR12, de acordo a norma ISO 13855. ,

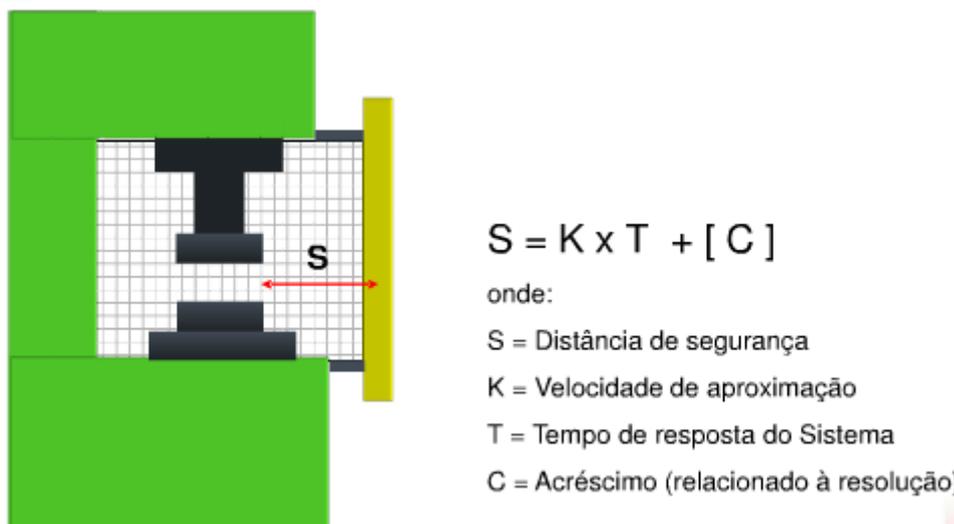



Figura 23 – Cálculo da Distância de Instalação de Cortinas de Luz
Fonte: LEUZE, 2013

S é a mínima distância em milímetros, da zona de perigo até o ponto, linha ou plano de detecção, K é um parâmetro em milímetros por segundo derivado dos dados de velocidade de aproximação do corpo ou partes do corpo e tem origem na norma européia EN-999. Para S >500mm adota-se a velocidade de aproximação do corpo movimentando-se em uma direção de K = 1600m/s.

T é a performance de parada de todo o sistema dado em segundos. O tempo de parada do robô ABB4400 é de 0,48 segundos.

C é a distância adicional em milímetros, baseada na intrusão contra a zona de perigo antes da atuação do dispositivo de proteção. Para uma resolução da cortina <30mm (detecção de mão em uma cortina vertical) C = 240mm.

Desta forma, a distância mínima que a cortina de luz deve ser posicionada até a zona de perigo deve ser de 1008mm.

Tipicamente, cortinas de luz são utilizadas de maneira que se uma pessoa ou algum objeto interromper os feixes, o sistema é desligado. Porém, esse desligamento do sistema deve ocorrer de maneira segura e se necessário, seguindo uma sequência ordenada de ações.

Como o robô deve segurar, movimentar e montar portas de um produto em uma área próxima a pessoas, é preciso garantir que em uma situação, por exemplo, da detecção de uma pessoa cruzando a cortina de luz, o robô pare o movimento, ou

diminua a velocidade e limite a área de trabalho, sem que haja o completo desligamento do sistema, que resultaria na peça sendo liberada das garras de vácuo, oferecendo riscos à segurança humana, além de poder danificar a peça.

Este é um caso onde a utilização de um CLP de segurança é apropriada, uma vez que o sistema não pode ser simplesmente desligado instantaneamente. Conforme a análise de risco, verifica-se também que um CLP de segurança, por possuir redundância de processamento de dados, memória e possuir meios para testar entradas e saídas continuamente, atende a categoria 4 de segurança. A maioria dos sistemas poderia ser projetada com CLPs convencionais em redundância, ou relés de segurança e dispositivos de intertravamento. A integração de outros vários dispositivos de segurança através do CLP de segurança pode ser utilizada para seletivamente determinar as ações mais apropriadas para garantir a segurança humana, sem prejudicar a produtividade.

Foi determinado o CLP de segurança modelo GuardPLC 1600 da Rockwell, que possui 28 entradas e saídas de segurança, mas caso seja necessário um número maior de E/S, módulos distribuídos de E/S podem ser conectados e se comunicar em uma rede de comunicações Ethernet Segura (GuardPLC Ethernet).

O GuardPLC 1600 (Anexo A), pode ser programado utilizando blocos lógicos apresentados no Anexo D. Neste anexo são ilustrados exemplos de diagramas de conexão dos dispositivos de segurança com o CLP de segurança, diagramas de temporização de auto teste e os principais blocos lógicos utilizados.

Além disso, considerando que outras etapas de montagem nesta mesma linha de produção apresentam o potencial de serem automatizadas e realizadas através de robôs, a possibilidade de expansão dos dispositivos de segurança, complexidade de software e tempo de desenvolvimento para alcançar os mesmos resultados, tornam o custo de sistemas com relés convencionais praticamente proibitivo se comparado à utilização de um CLP de segurança. (PLC…, 2013)

Caso seja desejado expandir o número de robôs, é necessário aumentar também o número de dispositivos de segurança, (sensores, cortinas, tapetes, etc). Uma vez que foi considerado a utilização de um CLP de segurança, esta expansão pode ser feita por meio de alterações consideravelmente simples de software e da instalação destes dispositivos sensores, conectados diretamente ao CLP de segurança existente ou de módulos de E/S conectados por meio de uma rede

segura. Exemplos de esquemas de conexão de CLP de segurança com módulos I/Os distribuídos são ilustrados no anexo B.

4 CONCLUSÃO

A máquina vem substituindo o trabalho humano, aumentando em funcionalidade e complexidade, consequentemente as legislações de proteção dos trabalhadores tem se tornado mais rigorosas., uma vez que o risco de acidentes também aumentou. A NR12 permite estabelecer metodologias para evitar que o trabalhador seja exposto aos riscos envolvidos do trabalho em ambientes com máquinas, neste caso específico, aos riscos decorrentes das operações efetuadas por um robô. A norma define os requisitos básicos para garantir a integridade física dos trabalhadores nestes ambientes, no entanto é preciso entender que não existe risco zero. Existe um número muito grande de soluções e fabricantes, sendo possível definir várias soluções diferentes que atendam às exigências normativas. Ainda, vale ressaltar a NR12 prevê em seu escopo a necessidade de que os trabalhadores envolvidos na operação de máquinas recebam cursos de capacitação antes de assumir a sua função.

A legislação e o mercado tem estimulado a evolução dos equipamentos de segurança, que permitem aumentar a produtividade sem prejuízo da segurança. A utilização de um CLP de segurança como interface de monitoramento é viável e especialmente vantajosa por este atender à categoria de segurança 4 e poder ser certificado de acordo com esta. Também podem ser destacadas vantagens considerando a necessidade de expandir os sistemas de segurança, devido ao potencial de expansão na quantidade de máquinas, sem a necessidade de reprojetar todo o sistema, visando aumentar a produtividade de uma linha de montagem e garantir a redução de riscos de acidentes do trabalho.

Após a finalização do estudo percebeu-se que a correta seleção e instalação dos dispositivos elétricos de segurança em uma máquina, influencia diretamente no correto atendimento às exigências normativas de modo a assegurar tanto a segurança dos trabalhadores, como a produtividade da linha de produção. O uso de CLPs de segurança simplifica as instalações proporcionando mais facilidade de configuração e flexibilidade através a modularidade das soluções, através da utilização de redes de segurança.

REFERÊNCIAS

ABB GROUP. **ABB Review Special Report Robotics**. Zurich: ABB, 2005.

ABB GROUP. **IRB 4400 Industrial Robot.** Zurich: ABB, 2010. Disponível em: <http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/0dc8b0df9cc39049c125772e0057e806/$file/IRB%204400%20PR10035EN%20R8.pdf>.
Acesso em: 22/09/2013

ABREU, Paulo. **Robótica Industrial**. Porto: Universidade do Porto, 2002. Disponível em: <http://paginas.fe.up.pt/~aml/maic_files/aplicacoes.pdf >. Acesso em 02/04/2013

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **Catálogo de Normas**: Disponível em: <http://www.abntcatalogo.com.br/>. Acesso em 14/02/2013

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR14153** - Segurança de Máquinas - Partes de sistemas de comando relacionados à segurança. Rio de Janeiro, 2013

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR13852** - Segurança de máquinas - Distâncias de segurança para impedir o acesso a zonas de perigo pelos membros superiores Rio de Janeiro, 2003

BALLUFF. **Pre-Engineered Robot Zone Limit Systems**. Florence: Balluff, 2008.

O Brasil na era dos robôs. **Época**, Capítulo de Negócio, p. 104. São Paulo: Globo, jun. 1998.

COLLINS, Dave. **Schneider Electric, Control Design**, 2009. Disponível em: <http://www.controldesign.com/articles/2009/safety0908/?show=all>. Acesso em 22/10/2013

FESTO Didactic. **Fundamentos da robótica**. São Paulo: Festo, 1993

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. São Paulo: Atlas, 1994.

INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS. **World Robotics 2011 Industrial Robots and Service Robots**. Frankfurt: IFR, 2011.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 61508** - Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic Safety-related Systems. 2010.
INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 61131** - Programmable controllers. 2003.

LEUZE ELECTRONIC, 2013. **Cálculo da distância de Instalação de Cortinas de Luz de Segurança**. Disponível em:
<http://www.leuzeelectronic.com.br/destaque-detalhes.php?id=19>.
Acesso em: 29/11/2013

Normas Regulamentadoras – Disponível em:
<http://portal.mte.gov.br/legislacao/normas-regulamentadoras-1.html> - Acesso em 12/10/2013

NR12 – SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/seg_sau/nr_12_texto.pdf> . Acesso em 12/10/2013

PANASONIC, Automation. **Remote I/O Unit with Connectors for Light Curtain**. Disponível em:
<http://www3.panasonic.biz/ac/e_download/fasys/sensor/safety/catalog/sf-cl1t264t_e_cata.pdf>.

PEREIRA, Carlos Eduardo; LAGES, Walter Fetter; ROMANO; Vitor Ferreira. **Robótica Industrial: Aplicação na Indústria de Manufatura e de Processos**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2002.

PILZ. **The Safety Compendium.** Corby. PILZ, 2012. Disponível em: <downloads.pilz.nl/downloads/Kompendium_EN_2012_04.pdf>. Acesso em: 29/08/2013.

PLC, PLC Edge. **Safety PLC**. Disponível em:
<http://www.plcedge.com/safety-plc.html>

PELLIZER, Marcos, **Mecatrônica Atual** - Ano 6 - Edição 35 – Setembro 2007. Disponível em: <http://www.mecatronicaatual.com.br/artigos/776-conhea-o-cip-safety-protocolo-para-a-rea-de-segurana> Acesso em: 10/10/2013.

ROBOTICS, Bible. **Robot magnetic grippers**. Outubro, 2011. Disponível em:

<http://www.roboticsbible.com/robot-magnetic-grippers.html> Acesso em:12/11/2013.

ROCKWELL Automation. **Produtos de Segurança.** 2013 Disponível em: <http://ab.rockwellautomation.com/pt/Safety>. Acesso em: 28/10/2013

ROCKWELL Automation. **SafetyNow**, 2006**.** Disponível em: <http://ab.rockwellautomation.com/pt/Safety>. Acesso em: 27/11/2013;

ROCKWELL Automation. **PLC vs. Safety PLC – Fundamental and Significant Differences**, 2002 Disponível em: <http://www.emea.rockwellautomation.com/oem/en/safety/docs/PLC-vs-Safety-PLC-Fundamental-and-Significant-Differences.pdf>. Acesso em 23/09/2013.

ROCKWELL Automation. **GuardPLC Certified Function Blocks**, 2007. Disponível em: <http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/1753-rm001_-en-p.pdf> Acesso em: 19/12/2013

ROCKWELL Automation. **Os PLCs de segurança são fáceis de usar com programação do tipo "arrastar e soltar".** Publicação 1755-PP001B-PT-P – Setembro, 2001. Disponível em: <http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pp/1755-pp001_-pt-p.pdf> Acesso em 23/09/2013.

ROCKWELL Automation. **Safety Applications and Wiring Diagrams - Catalog** Disponível em: <www.ab.com/catalogs>. Acesso em: 12/12/2013

SANTOS, Vítor M. F. Robótica Industrial - Apontamentos Teóricos. Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Mecânica, 2003. Disponível em: http://lars.mec.ua.pt/public/LAR%20Projects/Humanoid/2006_MiltonRuas-Projecto/Teoria/Controladores/RoboticaIndustrial-Sebenta2003-2004-v2a.pdf

SCHMERSAL DO BRASIL. **Catálogo Tapetes de Segurança**. Disponível em: <http://www.schmersal.com.br/cms15/opencms/html/pt/products/material/index.html> Acesso em: 20/11/2013.

SICK, Inc. **Solutions for the Robotics Industry**. Disponível em: < https://www.mysick.com/saqqara/im0016426.pdf> Acesso em: 02/07/2013.

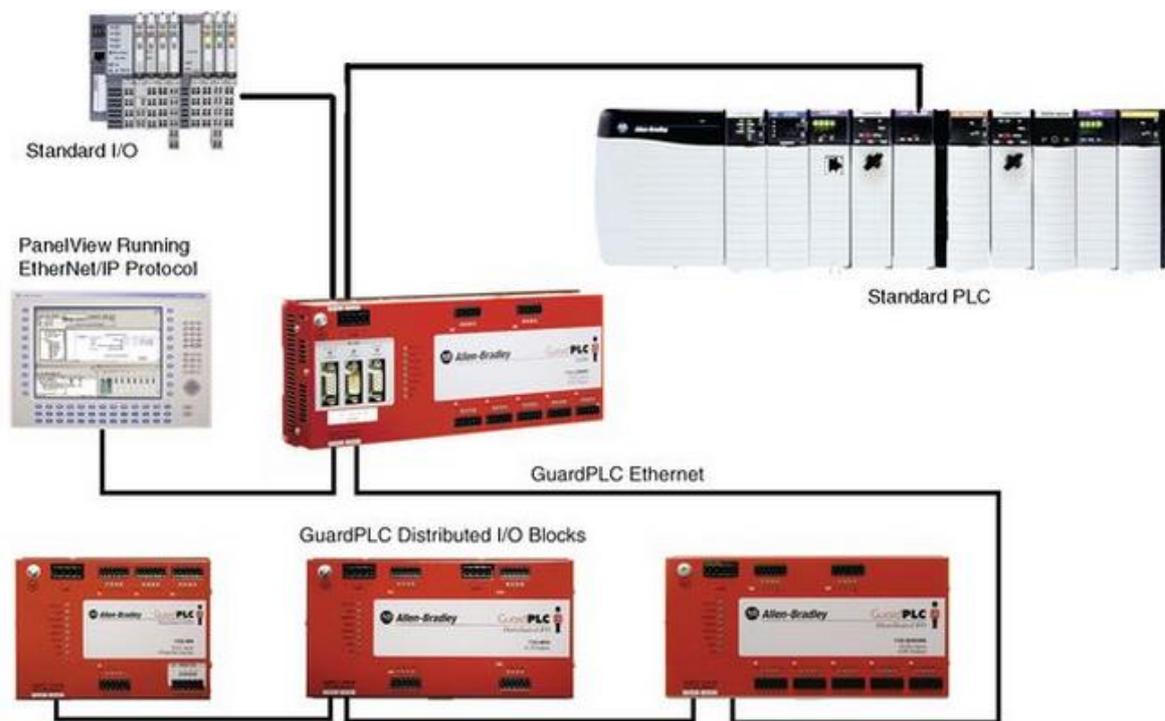
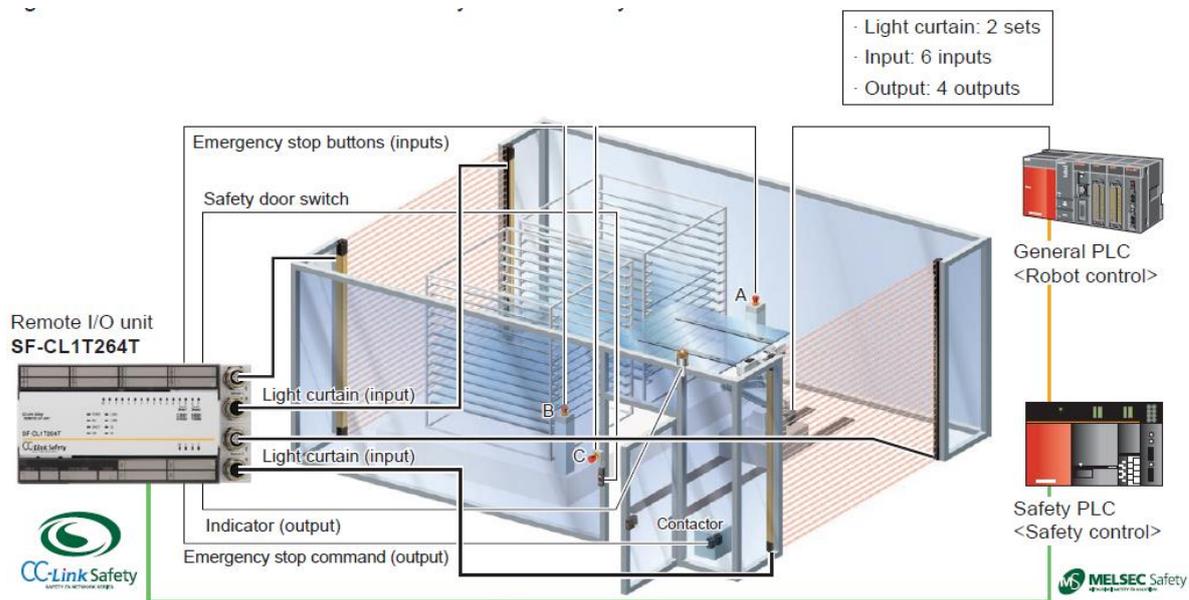
SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMANDO NUMÉRICO **Robôs Industriais**. Florianópolis, 1998.

SPONG, Mark W. VIDYASAGAR, Mathukumalli, **Robot Dynamics and Control**, John Wiley & Sons, Inc., 1989.

WEG. **Cortinas de Luz de Segurança**. Disponível em: <http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Controls/Linha-Safety/Cortinas-de-Luz-de-Seguranca>. 2013. Acesso em:24/11/2013.

ANEXO A – Linha de produtos GuardPLC – Rockwell.

Fonte: Rockwell, 2013

ANEXO B – Exemplos de CLP de segurança com módulos distribuídos.

Fonte: Rockwell, 2013

Fonte: Panasonic, 2013

ANEXO C- Folha de Especificações Robô ABB4400

IRB 4400

Specification

Robot versions	Reach	Payload	Standard	Foundry Plus 2	Foundry Prime 2
IRB 4400/60	1.96 m	60 kg	x	x	x

Supplementary load	
on axis 2	35 kg
on axis 3	15 kg
on axis 4	0-5 kg
Number of axes	
Robot manipulator	6
External devices	6
Integrated signal supply	23 signals and 10 power on upper arm
Integrated air supply	Max. 8 bar on upper arm
IRC5 Controller variants	Single cabinet, Dual cabinet

Performance

Position repeatability	0.19 mm
Path repeatability at 1.6 m/s	0.56 mm

Axis movements

Working range

Axis	Working range	Maximum speed
1, C Rotation	Axis 1 + 165 to - 165	Axis 1 150°/s
2, B Arm	Axis 2 + 96 to - 70	Axis 2 120°/s
3, A Arm	Axis 3 + 65 to - 60	Axis 3 120°/s
4, D Wrist	Axis 4 +200 to - 200	Axis 4 225°/s
4, Option	Unlimited	
5, E Bend	Axis 5 +120 to - 120	Axis 5 250°/s
6, P Turn	Axis 6 + 400 to - 400	Axis 6 330°/s
6, Option	Unlimited	

Electrical Connections

Supply voltage	200-600 V, 50/60 Hz
Rated power	
Transformer rating	7.8 kVA

Physical

Robot mounting	
IRB 4400	Floor
Dimensions	
Robot base	920 x 640 mm
Weight	
Robot	1040 kg

Environment

Ambient temperature	
Manipulator	5 – 45°C
Relative humidity	Max. 95%
Degree of protection	
Standard version	IP 54
Foundry Plus 2 and Foundry Prime 2	IP 67 and high pressure steam washable
Noise level	Max. 70 dB (A)
Safety	Double circuits with supervision, emergency stops and safety functions, 3-position enable device
Emmission	EMC/EMI-shielded

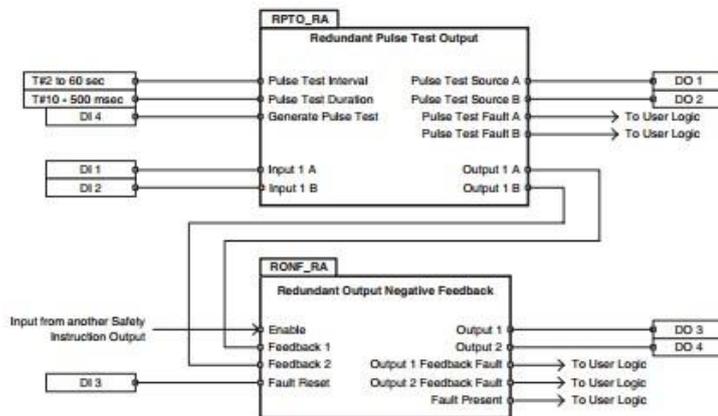
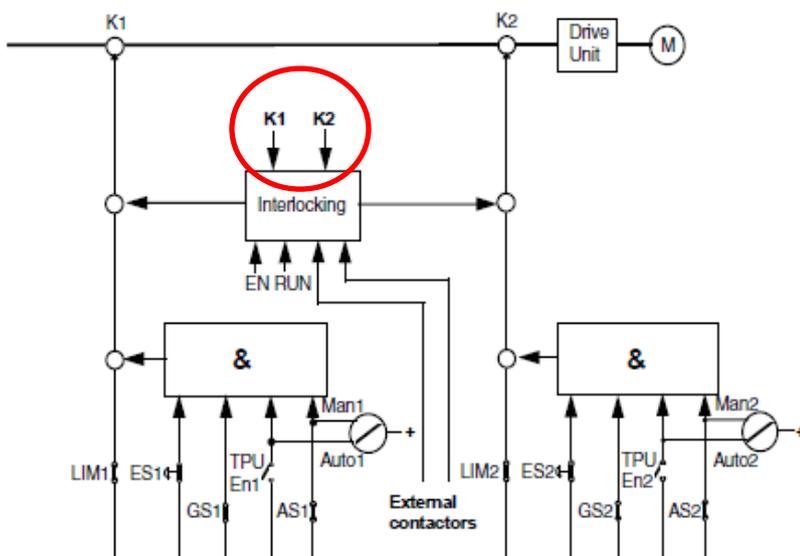
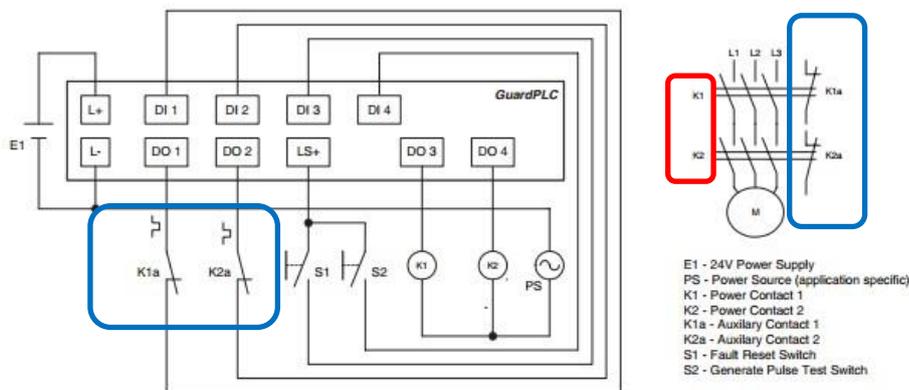
Data and dimensions may be changed without notice

Working range and load diagram

IRB 4400/60

400

Fonte: ABB, 2010

ANEXO D – Blocos lógicos do GuardPLC e Diagramas de Temporização

Fonte: Rockwell, 2007

Fonte: Adaptado de: Rockwell, 2007 / ABB, 2010

Fonte: Adaptado de: Rockwell, 2007

Fonte: Adaptado de: Rockwell, 2007

Fonte: Adaptado de: Rockwell, 2007